Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, Mar.-Apr. 2025, p. 1-16

Assessment of the GRI Index Compliance in Groundwater Drought in the Qazvin Plain, Iran

M. Jamshidi Avanaki[1], K. Ebrahimi[2*], S.S. Hashemi[2]

1- Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Department of Environmental Sciences and Technologies, Faculty of Energy and Sustainable Resources Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: EbrahimiK@ut.ac.ir)

Received:	20-11-2024	**How to cite this article:**
Revised:	14-04-2025	Jamshidi Avanaki, M., Ebrahimi, K., & Hashemi, S.S. (2025). Assessment of the GRI index compliance in groundwater drought in the Qazvin plain, Iran. *Journal of Water and Soil, 39*(1), 1-16. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90890.1447
Accepted:	15-04-2025	
Available Online:	15-04-2025	

Introduction

Drought, as an environmental crisis, not only impacts ecosystems but also poses risks to human activities and has significant negative effects. The occurrence of intermittent and prolonged droughts, along with significant fluctuations in climate, exacerbates water scarcity, particularly in surface water resources; thus, groundwater resources play a key role as a vital source for supplying water for various consumption needs.

Groundwater drought is one of the serious and increasing challenges that has been acutely felt in recent years. Climate change and increasing water demand in agricultural and industrial sectors has led to increase dextraction from groundwater sources, significantly affecting many plains and groundwater resources in the country, resulting in severe depletion. This has consequently led to water crises and recurrent droughts. Therefore, understanding the relationship between drought and the status of groundwater resources is crucial. This issue not only impacts agriculture and food security but also has negative effects on public health, the economy, and the environment. For this reason, proper and sustainable management of these resources in the face of drought challenges is essential.

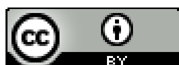
Materials and Methods

The examination of hydrogeological droughts and the monitoring of groundwater levels is essential for providing appropriate solutions for the protection and management of water resources.

In the present study, the Groundwater Resource Index (GRI) was used to assess groundwater drought in the Qazvin Plain. Additionally, to explore the relationship between the GRI and the Standardized Precipitation Index (SPI) across different time scales, the correlation coefficient between the two indices was calculated. Subsequently, the GRI was localized within the plain by analyzing its values across various monitoring wells.

Results and Discussion

The high correlation between the GRI index and the SPI drought index over a 48-month timeframe indicated that groundwater resources in the Qazvin plain were influenced by both wet and dry weather phenomena, with a time lag of approximately three to six months before meteorological drought translated into groundwater drought. Eslamian *et al*. (2009) also reported a three-month time lag for the effects of drought on the groundwater resources of the Qazvin, Buin Zahra, and Hamadan plains in their research .



https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90890.1447

Conclusion

The localization study of the GRI index in the Qazvin Plain region concluded that the index is highly responsive for assessing and evaluating groundwater drought. It effectively identified wet and dry years and showed a strong alignment with the behavior of the groundwater table. The analysis of drought during the years from 1996-2001 also illustrated that the impacts of drought continued into subsequent years on groundwater resources, and according to the GRI index, the decline in groundwater levels persisted in later years. This was evident even with increased precipitation in 2002 and thereafter, where we continued to witness declines and the ongoing trend of groundwater drought.

Acknowledgments

We would like to thank the University of Tehran and the Water Resources Management Company of Iran for providing the necessary facilities to conduct this research study and prepare relevant papers.

Keywords: Correlation, Drought, Groundwater resource index, Qazvin Plain, SPI

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۶-۱

بررسی میزان انطباق شاخص GRI در خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت قزوین

مهدیه جمشیدی اوانکی[۱]- کیومرث ابراهیمی[۲*]- سیده صبا هاشمی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶

چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های زیان‌بار آب و هوایی است که علاوه بر آب‌های سطحی تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی نیز بایستی پایش و شناسایی شود. هدف اصلی مقاله حاضر، مطالعه و بررسی اثرات خشکسالی بر رفتار سفره آب زیرزمینی دشت قزوین با استفاده از شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی (GRI) بوده است. برای این منظور تراز آب زیرزمینی به‌عنوان معیار اصلی مطالعه در چاه‌هایی با کمترین، بیشترین و مقادیر متوسط افت، مورد بررسی قرار گرفت. از آمار سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۴۵ به دلیل کامل بودن اطلاعات استفاده و محاسبات و ارزیابی‌های لازم انجام شد. نتایج نشان داد که یک روند کاهشی در مقادیر شاخص GRI طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۷۵ وجود داشته و از طرف دیگر در همین محدوده زمانی، خشکسالی‌های با درجات بالا در سفره آب زیرزمینی مورد مطالعه رخ داده است. همچنین نتایج بیانگر وجود همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی GRI با شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و تاخیر زمانی سه ماهه می‌باشد. ارزیابی تعداد زیادی از چاه‌های منطقه با شاخص GRI نشان داد که این شاخص عملکرد خوبی در دشت قزوین دارد. لذا با قاطعیت می‌توان اظهار نمود که بدون نیاز به هیچ ضریب تعدیل و یا اصلاح خاصی، شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی GRI برای آبخوان دشت قزوین به‌عنوان یک شاخص منطبق قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، دشت قزوین، شاخص منبع آب زیرزمینی، همبستگی، SPI

مقدمه

خشکسالی یکی از تغییرات معمول اقلیمی است که به کاهش بارندگی، افزایش دما و کمبود رطوبت در سطح زمین منجر می‌شود. این پدیده هنگامی اتفاق می‌افتد که بارش یا رواناب طبیعی در یک دوره زمانی معلوم، کمتر از متوسط زمانی متناظر بوده است؛ خشکسالی به عنوان یک بحران محیطزیستی نه تنها بر روی اکوسیستم‌ها تأثیر می گذارد، بلکه به گونه‌ای می‌باشد که فعالیت‌های بشر را با خطر مواجه کرده و اثرات منفی قابل توجهی دارد (Climatology & Aerology, 2011). از سوی دیگر، کشور ما به‌علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان از نظر منابع آب زیرزمینی دارای وضعیت نامطلوبی نسبت به متوسط دنیا است؛ بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی مدت و نوسانات زیاد آب و هوایی، کمبود آب به‌ویژه منابع آب سطحی را تشدید می‌کند؛ کمبود این منابع، باعث کاهش فرآیند تغذیه آب‌های زیرزمینی شده و در چنین شرایطی، حجم آب‌های زیرزمینی به تدریج کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند سبب تشدید کمبود آب در مناطق شهری و روستایی شود. بدین ترتیب منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع حیاتی جهت تأمین آب مصرفی در بخش‌های مختلف، نقش کلیدی را ایفا می‌کنند (Solaimani *et al*., 2005).

خشکسالی آب زیرزمینی یکی از چالش‌های جدی است که در سال‌های اخیر، به شدت احساس می‌شود. تغییرات اقلیمی و افزایش نیاز به آب در بخش‌های کشاورزی و صنعتی موجب افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی شده و بسیاری از دشت‌ها و منابع آب زیرزمینی کشور را تحت تأثیر قرار داده و باعث شده به شدت افت کنند که در نتیجه به

۱- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- گروه آموزشی علوم و فناوری‌های محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: EbrahimiK@ut.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90890.1447

بحران‌های آبی و خشکسالی‌های مکرر منجر شده است. بنابراین، درک رابطه بین خشکسالی و وضعیت منابع آب زیرزمینی اهمیت بسزایی دارد؛ زمانی که بارندگی کم می‌شود، میزان آب ورودی به منابع آب زیرزمینی کاهش یافته و در نتیجه سطح آب‌های زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند باعث افت کیفیت آب، افزایش غلظت املاح و در نهایت کاهش قابلیت استفاده از آب برای مصارف مختلف گردد و منجر به تخریب منابع آبی موجود شود. این موضوع نه تنها بر کشاورزی و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد، بلکه همچنین بر سلامت عمومی، اقتصاد و محیط‌زیست آثار منفی می‌گذارد. به همین دلیل، مدیریت صحیح و پایدار این منابع در برابر چالش‌های خشکسالی ضروری است. براساس گزارشات سازمان ملل؛ خشکسالی‌ها هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی بالایی به همراه دارند که به‌عنوان یک موضوع حیاتی در سیاست‌گذاری های دولتی باید مورد توجه قرار گیرند (Weather Report, 2020).

بررسی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی و رفتارسنجی سطح آب زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای حفاظت و مدیریت مناسب منابع آب، ضروری می‌باشد. در زمینه تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، مطالعات مختلفی در مناطقی که در معرض تهدید این مخاطره‌ی جوی هستند انجام گرفته است که هرکدام بسته به هدف و ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، روش‌های مختلفی را به کار برده‌اند؛ در ادامه به نمونه‌هایی از این مطالعات اشاره می‌شود.

خان و همکاران (Khan *et al*., 2008) در بررسی رابطه بین خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در اراضی یکی از دشت‌های استرالیا به این نتیجه رسیدند که بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و سطح آب زیرزمینی کم‌عمق منطقه ارتباط قوی وجود دارد. هسو و همکاران (Hsu *et al*., 2007) به‌منظور تعیین رابطه بارش و تغذیه از برون‌یابی بارندگی در دشت پینگتونگ تایوان استفاده کردند. در این تحقیق از رابطه ساده تغذیه و بارندگی استفاده شد؛ نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که کاهش سطح آب زیرزمینی باعث هجوم آب شور و افت کیفیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه شده است.

بروکو و همکاران (Brocque *et al*., 2018) روند تراز آب زیرزمینی ۳۸۱ چاه را در برابر تغییر اقلیمی به‌مدت ۲۶ سال با روش من‌کندال اصلاحی و تخمینگر سن در جنوب استرالیا بررسی کردند. لزایک و همکاران (Lezzaik *et al*., 2018) به توسعه و کاربرد شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی در شمال آفریقا و خاورمیانه پرداختند؛ نتایج سالانه GRI نشان داد که خطر افت تراز آب زیرزمینی به حکمرانی و امنیت غذایی وابسته است و ذخایر آب زیرزمینی منطقه در معرض خشکسالی آب زیرزمینی قرارگرفته است. بررسی روند تغییر تراز آب‌های زیرزمینی و خشکسالی آن‌ها در حوضه رودخانه شرقی بنگال غربی هند توسط هالدر و همکاران (Halder *et al*., 2020) با آزمون من‌کندال نشان داد این حوضه با خشکسالی شدید هواشناسی، آبشناسی و کشاورزی روبه‌رو است که تأثیر ویژه‌ای بر تراز آب‌های زیرزمینی منطقه دارند. سرکار و چیناسامی (Sarkar & Chinnasamy, 2023) در ارزیابی تأثیر بارش بر آبخوان با استفاده از شاخص SPI و GRI در منطقه پورولیا، بنگال غربی، هند نشان دادند که حدود ۷۱ درصد آبخوان به‌دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در وضعیت خشکسالی خیلی شدید قرار گرفته است.

آغچه‌کندی و همکاران (Aghchehkandi *et al*., 2023) با ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر تراز آب زیرزمینی حوزه آبخیز هراز استان مازندران دریافتند که خشکسالی با یک تأخیر ۳ ماهه بر منابع آب زیرزمینی اثر دارد و بیشترین همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های باران‌سنجی در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. نادریان‌فر و همکاران (Naderianfar *et al*., 2021) تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز هلیل رود جیرفت را بررسی کردند. نتایج تحلیل‌ها به‌صورت سری زمانی متوالی نشان داد که SPI با مقیاس زمانی بلندمدت ۷ ماهه از همبستگی بیشتری با هیدروگراف سطح آب زیرزمینی دشت برخوردار است. قلعه‌نی و همکاران (Mohammadi Ghaleni *et al*., 2011) به‌منظور بررسی رابطه بین خشکسالی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت ساوه از شاخص بارش استاندارد شده استفاده کردند. نتایج بررسی‌های همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده با تراز سطح آب زیرزمینی نشان داده است که شاخص SPI با مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۵ ماه بیشترین همبستگی را به‌ترتیب با ۰/۸۰۶ و۰/۷۶۲ دارد. عزیزی (Azizi, 2003) به‌منظور بررسی شدت خشکسالی و ارتباط بین خشکسالی‌های اقلیمی و هیدروژئولوژیک، از داده‌های بارش و آب‌های زیرزمینی دشت قزوین استفاده کرد. نتایج تحقیق او نشان داد که تعداد ناهنجاری‌های منفی بارش طی دوره، بیش از تعداد ناهنجاری‌های مثبت بوده و تأثیر فعالیت‌های انسانی در ناهنجاری‌های منفی آب‌های زیرزمینی به شدت چشمگیر است. خشکسالی آب‌های زیرزمینی با دو الی سه ماه تأخیر نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی بروز می‌کند. جمشیدی (Jamshidi Avanaki, 2013) به بررسی اثرات خشکسالی بر رفتار سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از شاخص های متداول پرداخت. وی با بومی کردن شاخص GRI در مورد آبخوان دشت قزوین نتیجه گرفت که علاوه بر وجود خشکسالی افزایش چاه‌های بهره‌برداری واضافه برداشت‌ها روند نزولی سطح سفره دشت قزوین را تشدید کرده است. مندیسینو و سناتوره (Mendicino & Senatore, 2008) در پژوهشی شاخص منبع آب زیرزمینی GRI را در منطقه کلابریا که دارای اقلیم مدیترانه‌ای است برای یک دوره ۴۵ ساله (۱۹۵۹-۲۰۰۶) محاسبه و سپس با شاخص SPI در مقیاس ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ماهه مقایسه کردند. آنان دریافتند که خصوصیات لیتولوژی حوضه بر شاخص GRI مؤثر بوده و سبب تأخیر فاز GRI نسبت به SPI می شود؛ از طرفی هر چه مقیاس زمانی SPI بزرگتر باشد، همبستگی آن با

شاخص GRI مناسب‌تر است. ایمانی و طالبی اسفندرانی (Eimani & Talebi Esfandarani, 2011) در بررسی آثار خشکسالی در یک دوره بیست ساله (۱۳۶۷-۱۳۸۷) بر سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص SPI و شاخص GRI به مطالعه پرداختند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده افت شدید سفره در ده سال اخیر و رابطه بین شاخص SPI در مقیاس زمانی دراز مدت به‌خصوص مقیاس ۴۸ ماهه با سطح ایستابی سفره دشت می‌باشد. همچنین صیف و همکاران (Seif, *et al.*, 2011) در منطقه فسا به نتیجه‌ی مشابهی با آنچه که ایمانی و طالبی اسفندرانی نتیجه گرفته‌اند، دست یافتند که نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار بین خشکسالی اقلیمی با خشکسالی هیدروژئولوژیکی به‌خصوص در مقیاس بلند مدت می‌باشد و خشکسالی هیدروژئولوژیکی نسبت به خشکسالی اقلیمی تأخیر فاز دارد.

همان‌گونه که از مرور مطالعات انجام شده مشخص است، در بررسی وضعیت خشکسالی، در تعداد کمی از تحقیقات به مسئله آب‌زیرزمینی توجه شده است و اغلب از شاخص SPI که بر اساس داده‌های بارندگی طولانی مدّت است، استفاده شده است. با این وجود شاخص SPI نمی‌تواند سایر پارامترها از جمله سطح آب زیرزمینی، رطوبت خاک، کاربری اراضی، شرایط گیاهی را در پایش و پیش‌بینی خشکسالی مورد بررسی قرار دهد. لذا از آنجا که یکی از ابزارهای مفید برای پایش خشکسالی آب زیرزمینی، شاخص منبع آب زیرزمینی GRI می‌باشد، در پژوهش حاضر شاخص GRI، به‌عنوان یک شاخص توانا برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی منبع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت قزوین واقع در استان قزوین در شمال غربی ایران و بین دو رشته کوه البرز و زاگرس قرار دارد. این دشت همچنین از شمال به استان گیلان، از شرق به تهران، از غرب به استان زنجان و از جنوب به استان مرکزی متصل می‌باشد. دشت قزوین در محدوده طول‌های جغرافیایی ´۴۸°۴۵ تا ´۵۰°۵۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۳۵°۳۷ تا ´۳۶°۴۵ شمالی قرار گرفته و ارتفاع حداکثر و حداقل به‌ترتیب برابر ۲۹۷۱ و ۱۱۰۰ متر و متوسط ارتفاع از سطح دریا حدود ۱۲۵۰ متر می‌باشد. محدوده مطالعاتی دشت قزوین با وسعت ۴۴۸۷ کیلومتر مربع از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز کشور به‌عنوان زیرحوضه رود شور که وسیع‌ترین حوضه آبریز استان قزوین است، محسوب می‌شود.

از نظر اقلیمی، دشت قزوین دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب است. این دشت از شمال با حوضه آبریز شاهرود، از غرب با ابهررود و خررود، از جنوب با رودخانه‌های شورچای، قره بلاغ لار و قره چای و از شرق با رودخانه کردان و کرج محاط شده است. رودخانه‌های دشت قزوین از سلسله جبال اطراف آن سرچشمه گرفته و به سمت دشت جاری می‌شوند؛ از شمال رشته کوه البرز، از غرب کوه‌های چهارگر و از جنوب کوه‌های رامند آن‌ها را تغذیه می‌کنند.

نحوه رسوب‌گذاری و وجود رودخانه‌های بزرگ و کوچک در این منطقه باعث شده که سفره آب زیرزمینی موقعیت خوبی پیدا نماید و شرایط بهره‌برداری از آن‌ها را در اولویت قرار دهد.

داده‌ها و مشخصات ایستگاه‌ها

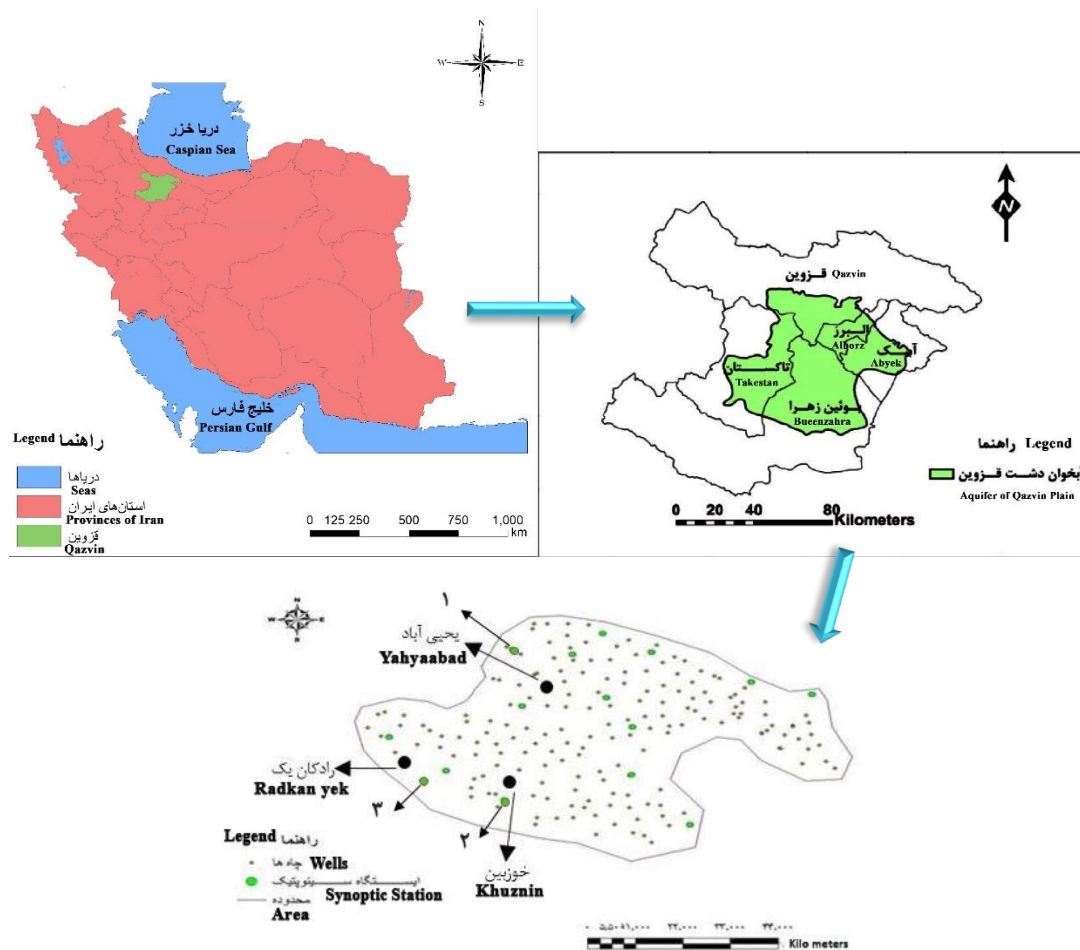
در این پژوهش به‌منظور ارزیابی میزان انطباق شاخص GRI در خشکسالی منابع آب زیرزمینی و بررسی خشکسالی هواشناسی توسط شاخص SPI، به‌دلیل کامل و بی‌نقص بودن داده‌ها، دوره آماری از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۰ انتخاب و محاسبات انجام گردید. علاوه بر این جهت بررسی رابطه شاخص GRI با شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف، ضریب همبستگی این دو شاخص نیز محاسبه شد و در ادامه کار بومی‌سازی شاخص GRI؛ فرآیند ارزیابی و تعدیل این شاخص جهت تطبیق با شرایط منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت.

از سه ایستگاه هواشناسی آشتجین، دانسفهان و رحیم‌آباد و سطح آب زیرزمینی ۸۹ حلقه چاه جهت ارزیابی رابطه خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت قزوین استفاده شد. ایستگاه‌های مذکور با در نظر گرفتن موارد مختلفی از جمله نواقص آماری کم، داشتن آمار طولانی مدت و پراکنش مناسب در سطح دشت انتخاب گردید. در مرحله‌ی پیش پردازش داده‌ها، ابتدا داده‌های بارش ماهانه کلیه ایستگاه‌ها به لحاظ همگنی از طریق روش آماری ران تست[1] مورد بررسی قرار گرفت و سپس نواقص آماری داده‌ها با استفاده از روش الگوریتم حداکثر برآورد مورد انتظار[2] تخمین زده شد. در گام بعدی برای هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر، مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه محاسبه و برازش توزیع آماری گاما (به‌دلیل برتری‌هایی از قبیل انطباق با توزیع‌های مختلف و توانایی تبدیل به توزیع نرمال، توصیف سری‌های زمانی طولانی مدت انتخاب شد) بر سری‌های بارندگی حاصله انجام گردید که در نهایت این توزیع به یک توزیع نرمال تبدیل شده است (McKee *et al.*, 1993). همچنین داده‌های سطح آب زیرزمینی در دوره آماری به‌عنوان ورودی اصلی شاخص GRI انتخاب شد و از بین ۸۹ چاه پیزومتری، سه چاه رادکان یک، خوزبین و یحیی‌آباد با بیشترین، کمترین و متوسط افت در نقاط مختلف دشت که نماینده

1- Run test

2- Expectation maximization algorithm

کل دشت باشد انتخاب شد. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و چاه‌های پیزومتری را در منطقه نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت قزوین به همراه ایستگاه‌ها و چاه‌ها

Figure 1- Geographic location of the Qazvin Plain along with stations and wells

جدول ۱- خلاصه آماری بارندگی ایستگاه‌های منتخب در دوره مطالعه شده

Table 1- Statistical Summary of Rainfall at Selected Stations During the Study Period

شماره ایستگاه Station Number	ایستگاه سینوپتیک Synoptic Station	کد Code	از سال Year	میانگین بارندگی (mm) Average Precipitation	انحراف معیار Standard Deviation	کمینه (mm) Minimum	بیشینه (mm) Maximum
1	آشتجین Ashtgin	41-158	1347	344	111	128	**627**
2	دانسفهان Dansfahan	41-142	1350	212	60	68.5	**358**
3	رحیم آباد Rahimabad	41-071	1345	319	141	140.5	**570**

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI به‌طور رسمی در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی و همکارانش (McKee *et al.*, 1993) معرفی شد. این شاخص براساس نرمال‌سازی داده‌های بارش طراحی شده و این امکان را به محققان می دهد که الگوهای بارش را بدون توجه به توزیع‌های نرمال بررسی کنند (McKee *et al.*, 1993). محاسبه شاخص SPI شامل چند مرحله کلیدی است. در ابتدا، داده‌های بارش برای یک دوره معین جمع‌آوری می‌شود؛ سپس، این داده‌ها براساس تابع توزیع نرمال، نرمال‌سازی می شوند. در این مرحله، برای هر مقدار بارش، نمره Z (متغیر تصادفی نرمال استاندارد که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است) محاسبه می‌شود که این مقدار همان شاخص SPI است (Stagge *et al.*, 2017). در شرایطی که داده‌ها توزیع نرمال نداشته باشند، محاسبه مستقیم SPI می‌تواند منجر به نتایج گمراه کننده شود. با این وجود می‌توان با استفاده از توزیع‌های جایگزین نظیر توزیع گامبل، ویزور و یا لاپلاس به مدل‌سازی دقیق‌تری از داده‌های بارش کمک و سپس SPI را محاسبه کرد. همچنین تضمینی وجود ندارد که داده‌ها به‌طور مطلق به توزیع نرمال تبدیل شوند. لذا توجه به نوع داده، حجم نمونه و شرایط خاص هر پدیده الزامی است تا از نتایج به‌دست آمده به دقت و صحت لازم دست یافت.

شاخص بارش استاندارد شده بر این اصل استوار است که کمبود مقدار بارش، اثرات مختلفی روی سطح آب‌های زیرزمینی، مقدار آب ذخیره یافته پشت سدها، رطوبت خاک، ذخیره برف و جریانات رودخانه‌ای دارد. شاخص SPI برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی اثرات خشکسالی را بر منابع آب قابل دسترس نشان می‌دهند. شرایط رطوبتی خاک؛ عکس‌العملی هستند در برابر ناهنجاری‌های بارندگی در مقیاس‌های نسبتاً کوتاه، در حالی‌که جریانات سطحی، آب‌های زیرزمینی و مقدار ذخایر پشت سدها؛ اثر ناهنجاری‌های دراز مدت بارندگی را منعکس می‌کنند.

از آنجا که شاخص SPI یک شاخص نسبی است، به‌راحتی می‌تواند برای مقایسه بارش در دوره‌های زمانی مختلف یا مناطق جغرافیایی مختلف استفاده شود. این ویژگی امکان شناسایی دوره‌های خشک و مرطوب را فراهم می‌آورد و به این ترتیب می‌تواند به تصمیم‌گیری‌ها در زمینه کشاورزی، مدیریت منابع آب، و پیش‌بینی وقوع بلایای طبیعی کمک کند. در واقع، این شاخص از آن جهت که قابلیت شناسایی الگوهای بارش را فراهم می‌آورد، در پیش‌بینی و مدیریت بحران‌های مرتبط با کمبود آب یا سیل بسیار کارآمد است (Hayes, Svoboda, & Wall, 1999).

در پژوهش حاضر برای محاسبه SPI ابتدا داده‌های ماهانه بارندگی استخراج و سری‌های زمانی در مقیاس‌های ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه تشکیل گردید؛ هنگامی‌که رابطه احتمال داده‌های بارندگی موجود به‌دست آمد، احتمال نقطه‌ای هر یک از داده‌های بارندگی مشاهده شده، محاسبه و برای محاسبه انحراف بارندگی در تابع چگالی احتمال گاما که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک می‌باشد، مورداستفاده قرار گرفت و توزیع تجمعی گاما به روش مک‌کی محاسبه شد؛ در انتها متغیر تصادفی z یا SPI مربوط به هر مقدار بارندگی از منحنی احتمالات تجمعی به دست آورده شد.

تابع احتمال توزیع تجمعی گاما برازش خوبی بر سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد و به صورت تابع چگالی احتمال یا تابع فراوانی بر اساس رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}.\Gamma(\alpha)}.x^{\alpha-1}.e^{-x/\beta} \qquad X > 0 \qquad (۱)$$

که $\alpha > 0$ و $\beta > 0$ به‌ترتیب پارامتر شکل و مقیاس هستند، $X > 0$ مقدار بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما می‌باشد که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1}e^{-y}dy \qquad (۲)$$

شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی (GRI)

مندیسینو و همکاران (Mendicino & Senatore, 2008) در سال ۲۰۰۸ شاخص GRI را به‌عنوان شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای منطقه مدیترانه پیشنهاد دادند. در این شاخص وضعیت‌های مختلف لیتولوژی زمین تأثیر مهمی بر واکنش هیدروژئولوژیکی حوضه در فصل تابستان نسبت به بارش‌های فصل زمستان دارند. تحلیل خصوصیات شاخص GRI بیانگر تغیرات مکانی زیاد این شاخص و حساسیت زیاد آن به خصوصیات لیتولوژی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شاخص GRI در ماه‌های تابستان از خود همبستگی بالایی برخوردار است و این قابلیت برای برخی از اهداف پیش‌بینی مناسب است. مقدار این شاخص از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$GRI = \frac{D_{y.m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \qquad (۳)$$

که در این رابطه: $D_{y.m}$ مقادیر آب زیرزمینی در سال y و ماه m، $\mu_{D,m}$ میانگین مقادیر آب زیرزمینی در ماه m و $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار مقادیر آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد (Chenari, 2006).

طبقات مختلف رطوبتی در شاخص GRI همانند شاخص SPI می‌باشد؛ پدیده خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که مقادیر به‌طور مداوم منفی شده و به ۱- یا کمتر برسد؛ در صورتی‌که مقادیر مثبت نشان دهنده خاتمه خشکسالی می‌باشند. بنابراین هر واقعه خشکسالی مدت

تداومی دارد که با زمان شروع، خاتمه و شدت آن در هر ماه تا زمانی‌که خشکسالی دوام داشته باشد، تعریف می‌شود. در جدول ۲ طبقات مختلف رطوبتی شاخص‌های GRI و SPI نشان داده شده است.

نتایج و بحث

بررسی وضعیت آب زیرزمینی با شاخص GRI

شکل ۲ به بررسی تغییرات تراز آب زیر زمینی در سه چاه یحیی‌آباد، رادکان یک و خوزبین پرداخته است؛ همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر سه نمودار دو روند دیده می‌شود.

قسمت (الف) عمق دسترسی به آب از ۲۶ متری سطح زمین در سال ۱۳۴۷ به ۶۴/۵ متری سطح زمین در سال ۱۳۹۰ رسیده است. به عبارت دیگر ۳۸/۵ متر افت طی ۴۴ سال اتفاق افتاده است؛ روند افت طبق شکل طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۴۷ تقریباً ثابت و پیرامون ۱۰ متر بوده است، اما این مقدار از سال۷۴ به بعد روند نزولی به خود گرفته و بیشترین افت طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۶ اتفاق افتاده است که معادل ۳۰ متر می‌باشد.

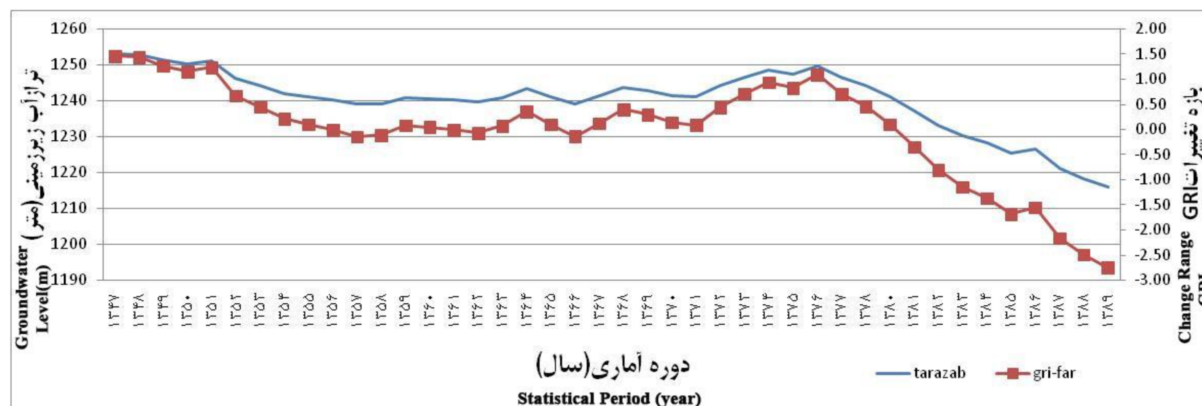
چاه رادکان یک هم مانند چاه یحیی‌آباد با افت سطح آب زیرزمینی همراه بوده است که افت ۱۱/۸ متر از سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۷۷ و افت ۳۸/۵ متری از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۰به ثبت رسیده است. این مقدار افت در چاه خوزبین نیز همین روند را داشته است؛ به‌گونه‌ای که از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۷۷ روند تقریباً ثابت بوده و طی این ۳۵ سال ۵/۲ متر افت داشته؛ یعنی به ازای هر سال ۱۵ سانتی‌متر افت به ثبت رسیده است. در حالی‌که این مقدار افت طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۰ به ۴۵ متر رسیده است؛ به این معنا که طی این ۱۴ سال، به ازای هر سال ۳/۲ متر افت ثبت شده است و دلیل آن افزایش چاهای عمیق و نیمه‌عمیق در سطح منطقه است.

شکل ۳ انطباق تراز آب زیرزمینی فروردین ماه با بارندگی سالانه را نشان می‌دهد؛ بررسی تراز آب در این ماه می‌تواند نشان‌دهنده میزان تأثیر بارش‌ها بر منابع آبی سطحی و زیرزمینی باشد. در بسیاری از مناطق، فروردین به‌عنوان ماهی حیاتی در چرخه آبی شناخته می‌شود، زیرا آب‌های ذخیره شده در این ماه می‌توانند تأثیر زیادی بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشند. با تجزیه و تحلیل تراز آب در فروردین و بارش کل سال، می‌توان به درک بهتری از روندهای بلندمدت بارش و تأثیرات آن بر ذخایر آبی و تغییرات اقلیمی رسید. هنگامی که تراز آب در فروردین ماه علی‌رغم بارش‌های کم در کل سال افزایش یافته است، نشان‌دهنده نفوذ رواناب‌های ناشی از بارندگی‌های ماه‌های قبل است.

جدول ۲- طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی بر حسب مقادیر GRI و SPI

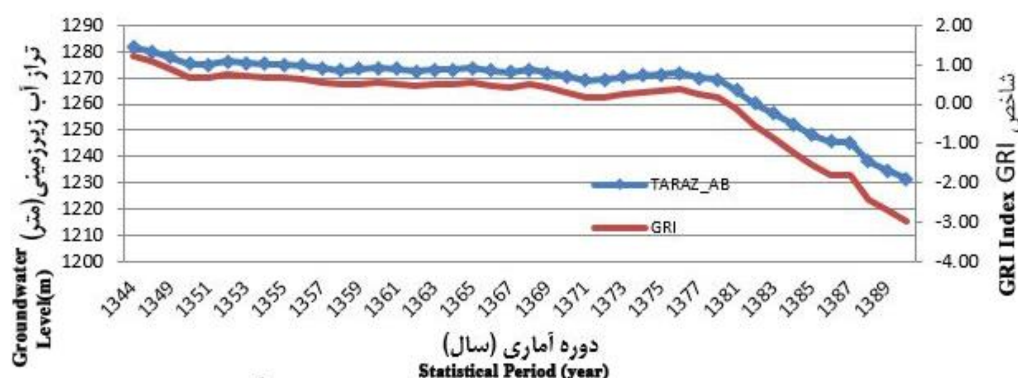
Table 2- Different Levels of Drought and Flooding Based on GRI and SPI Values

طبقات Classes	مقادیر شاخصSPI SPI Index Values	مقادیر شاخصGRI GRI Index Values	ویژگی بارشی Precipitation Characteristics
1	≥ 2	≥ 2	ترسالی شدید Severe Wetness
2	1.99 تا 1.5	1.99 تا 1.5	خیلی مرطوب Very Humid
3	1.49 تا 1	1.49 تا 1	ترسالی متوسط Moderate Wetness
4	0.99 تا 0.5	0.99 تا 0.5	ترسالی ضعیف Weak Wetness
5	0.49 تا -0.49	0.49 تا -0.49	نرمال Normal
6	-0.99 تا -0.5	-0.99 تا -0.5	خشکسالی ضعیف Weak Drought
7	-1.49 تا -1	-1.49 تا -1	خشکسالی متوسط Moderate Drought
8	-1.99 تا -1.5	-1.99 تا -1.5	خشکسالی شدید Severe Drought
9	-2≤	-2≤	خشکسالی بسیار شدید Very Severe Drought



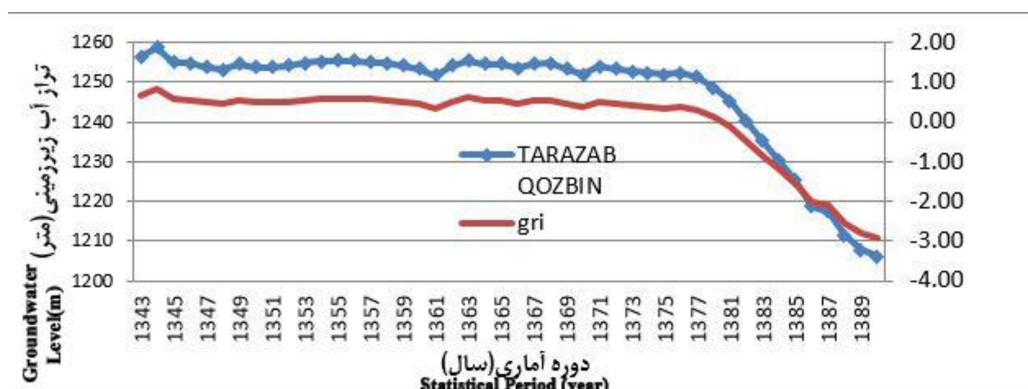
الف- تطابق شاخص GRI و ترازآب زیرزمینی چاه یحیی آباد و ایستگاه سینوپتیک آشتجین-فروردین ماه

a- Correlation of the GRI index and groundwater level of Yahyaabad well and the synoptic station of Ashtgin - March



ب- تطابق شاخص GRI چاه رادکان یک و ترازآب زیرزمینی ایستگاه سینوپتیک رحیم‌آباد-فروردین ماه

b- Correlation of the GRI index of Radkan yek well and the groundwater level of the synoptic station of Rahimabad – March



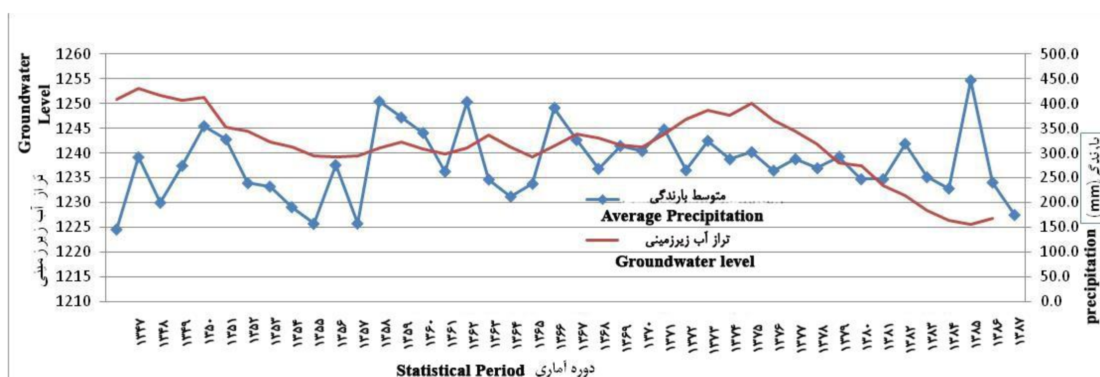
ج- تطابق شاخص GRI چاه خوزبین و ترازآب زیرزمینی ایستگاه سینوپتیک دانسفهان-فروردین ماه

c- Correlation of the GRI index of Khuzbin well and the groundwater level of the synoptic station of Dansfahan - March

شکل ۲- تطابق شاخص GRI و ترازآب زیرزمینی در سه چاه

Figure 2- Correlation of the GRI index and groundwater level in three wells

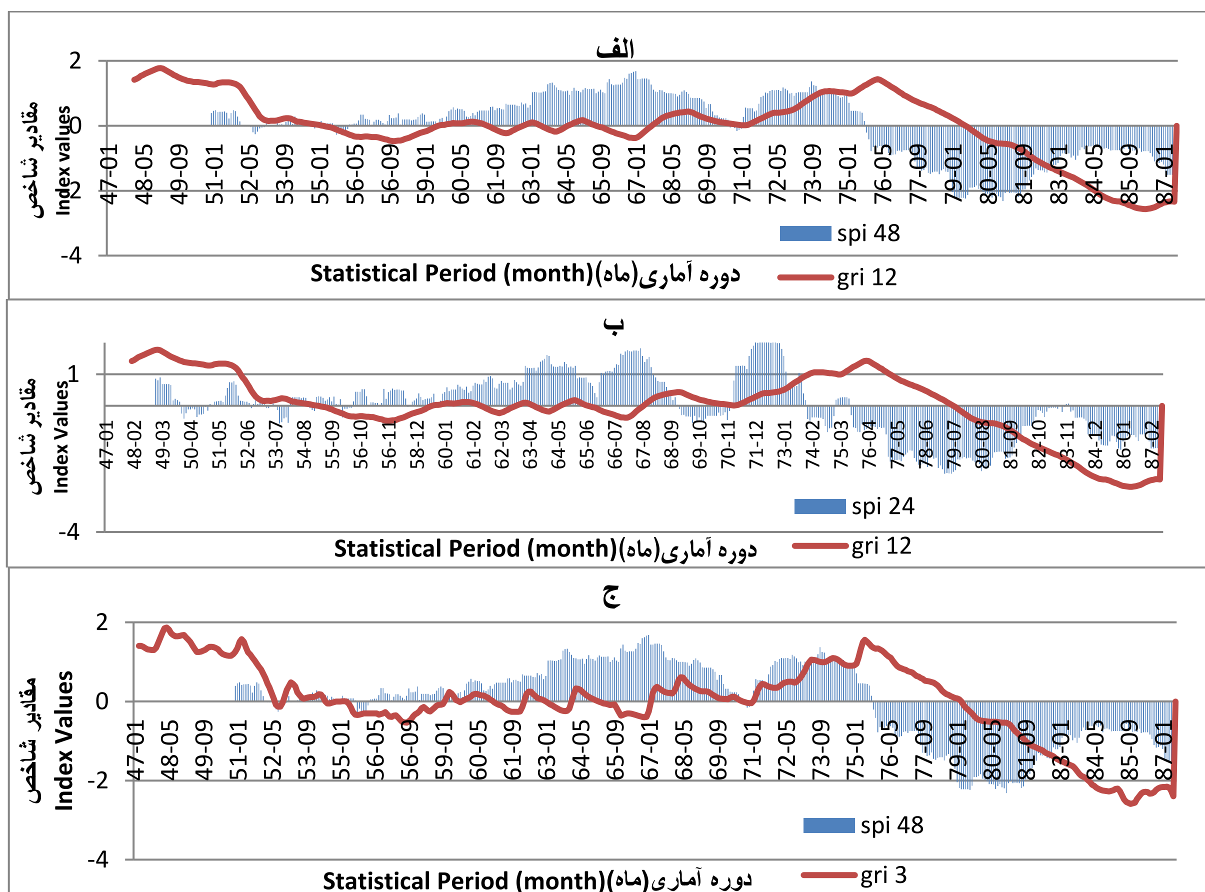
همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است، در قسمت (الف) شاخص SPI 48 ماهه و شاخص GRI 12 ماهه باهم انطباق داده شده که نشان می‌دهد تأخیر زمانی بین دو نمودار وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که با کاهش بارندگی و وجود خشکسالی براساس شاخص SPI پس از چند ماه شاخص GRI هم خشکسالی را به اثبات رسانیده است. به همین ترتیب در نمودارهای قسمت (ب) و (ج) هم همین نتیجه را می‌توان گرفت. علت تفاوت این تأًخیرهای زمانی به علت تفاوت در شرایط هر دشت است از جمله به عمق سطح آب زیرزمینی، خصوصیات لیتولوزی و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان آن منطقه بستگی دارد.



شکل ۳- تطابق تراز آب زیرزمینی فروردین ماه و مجموع بارندگی سالانه-چاه یحیی‌آباد

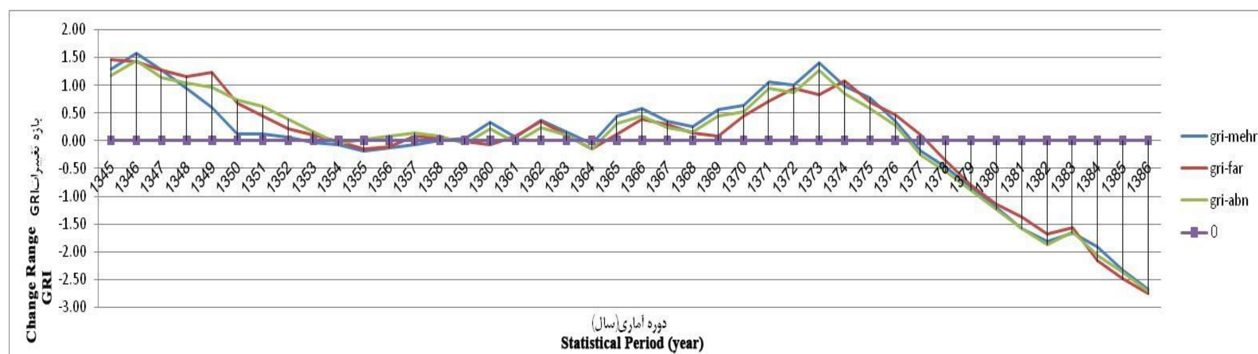
Figure 3- Correlation of groundwater level in Farvardin and total annual precipitation - Yahyaabad

از سال ۷۲ تا ۷۴ با افزایش قابل توجه بارندگی‌ها، سطح آب زیرزمینی حدود ۱/۵ متر افزایش یافته است، اما در سال‌های بعد با کاهش میزان بارندگی تا سال ۸۶ روند نزولی بروز نموده است. بررسی روند شاخص GRI در این شکل، ورود به آستانه خشکسالی ضعیف را از سال ۷۹ نشان می‌دهد که این روند با شیب تندی ادامه پیدا کرده، در سال‌های ۸۰ تا ۸۱ به خشکسالی متوسط رسیده، در سال‌های ۸۱ تا ۸۳ به خشکسالی شدید رسیده و از سال ۸۳ به بعد به خشکسالی بسیار شدید رسیده است که این موضوع از افت ۳۱/۵ متری سطح ایستابی کاملا نمایان است. روند شاخص SPI هم با توجه به بازه‌های شاخص از سال ۷۶ تا سال ۸۲ خشکسالی شدید را نشان می‌دهد.



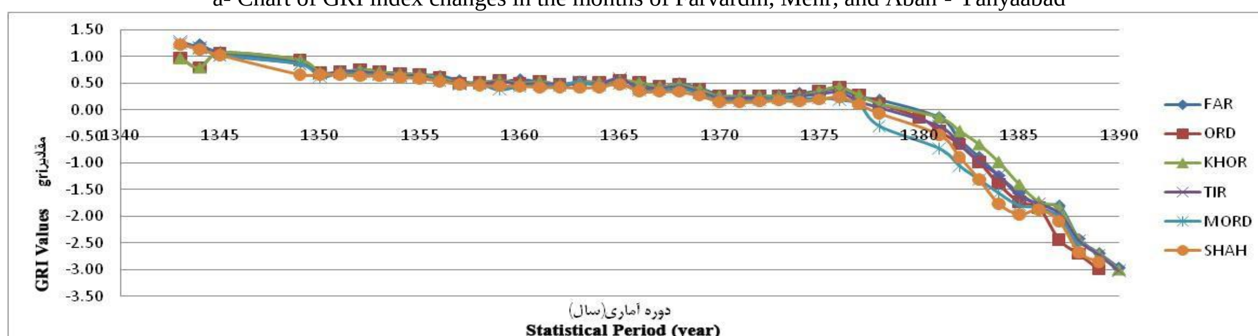
شکل ٤- تطابق شاخص GRI و SPI با مقیاس‌های زمانی متفاوت-چاه یحیی‌آباد

Figure 4- Correlation of GRI and SPI indices with different time scales- Yahyaabad



الف- نمودار تغییرات شاخص GRI در سه ماه فروردین، مهر و آبان-یحیی آباد

a- Chart of GRI index changes in the months of Farvardin, Mehr, and Aban - Yahyaabad



ب- نمودار تغییرات شاخص GRI در شش ماه فروردین تا شهریور-رادکان یک

b- Chart of GRI index changes over six months from Farvardin to Shahrivar - Radakan yek

شکل ۵- تغییرات شاخص GRI در ماه‌های متفاوت

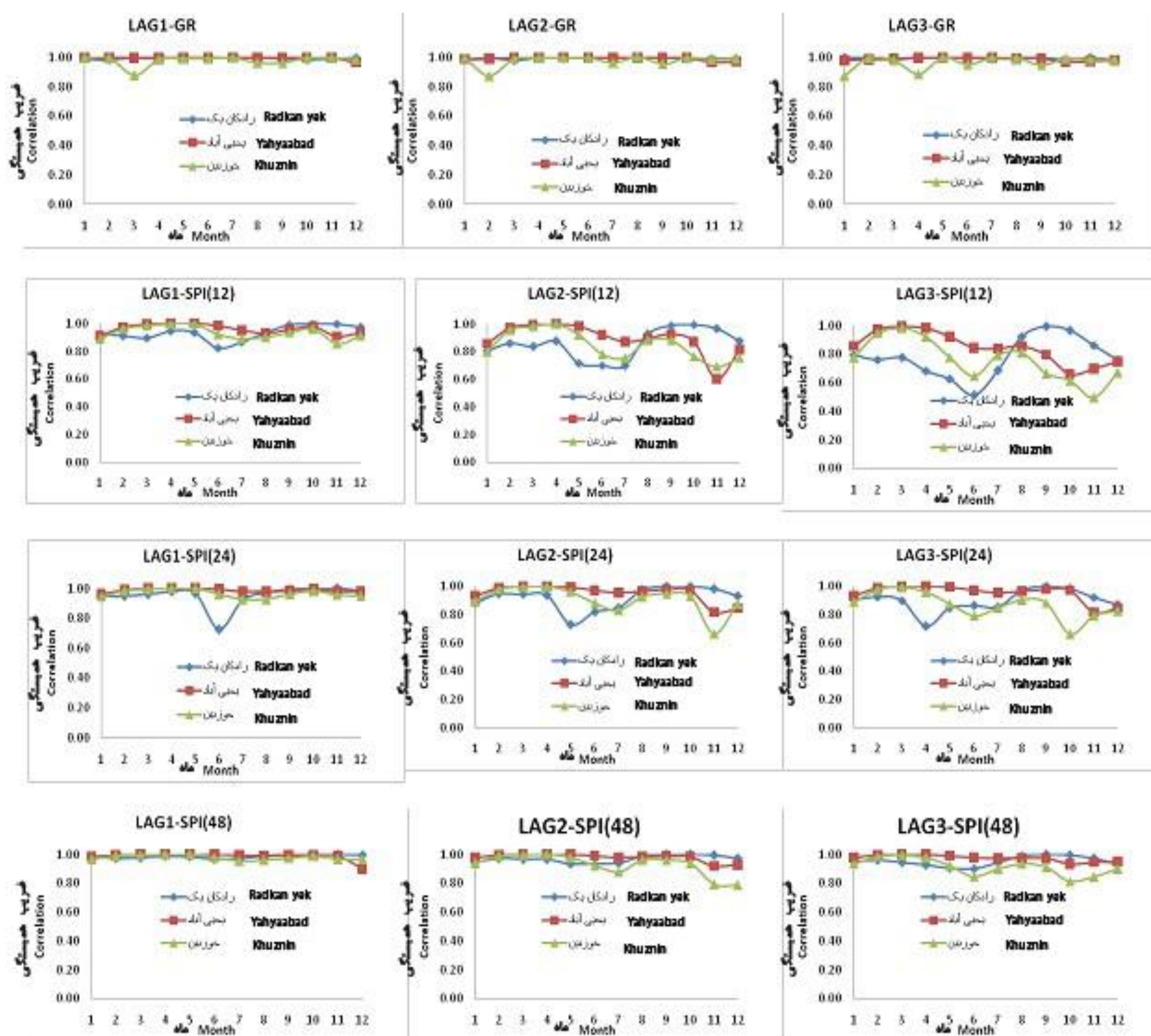
Figure 5- Changes in the GRI index in different months

طبق شکل ۵ بررسی تغییرات شاخص GRI در سه ماه فروردین، مهر و آبان، مبین این است که تغییرات شاخص طی این سه ماه تقریباً مشابه بوده و بررسی‌های آماری نشان می‌دهد تغییرات این سه نمودار در سطح ۵٪ معنی‌دار نبوده است و اختلافات آن‌ها قابل چشم‌پوشی است.

روند نزولی شاخص GRI طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۶ به جنبه‌های مختلفی مربوط می‌شود؛ نخستین دلیل می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش دما باشد که منجر به تبخیر بیشتر و کاهش رطوبت خاک می‌شود. به‌طوری‌که حتی در سال‌هایی که بارش بیشتری وجود دارد، ممکن است تبخیر به قدری باشد که رطوبت خاک نتواند به سطح نرمال برسد. دلیل دیگر، تغییرات در الگوهای بارش است. به عبارتی، در برخی از مناطق ممکن است بارش در زمان‌های خاصی از سال (مانند بارش‌های فصلی) افزایش یابد، اما این افزایش بارش به‌خوبی توزیع نشده و نمی‌تواند نیازهای آبی خاک را در تمام طول سال برآورده کند. در این وضعیت، مقادیر بارش به‌ظاهر افزایش یافته، اما مقادیر شاخص به‌دلایلی چون تبخیر بالا و عدم توزیع مناسب بارش، همواره نزولی می‌باشد. در مقایسه با سال‌های قبل از ۱۳۷۶ میزان برداشت به‌دلایلی از جمله کاهش بارندگی، خشکی قنات و چشمه‌ها و کاهش آبدهی چاه‌های موجود، افزایش چشمگیری داشته است؛ هر چند عامل اقلیمی بیشترین تأثیر را در افت سطح ایستابی طی سال‌های اخیر داشته، ولی این بحران و برداشت ۷ برابر قبل، حاصل مجموعه عواملی از جمله طرح توسعه نیروگاه شهید رجایی (با توجه به نیاز آبی قابل ملاحظه‌ای که دارد) و افزایش چاه‌های بهره‌برداری است که نیازمند تحقیقی مجزا جهت تعیین درصد نقش عامل انسانی و اثرات زیست‌محیطی در خشکسالی آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

خود همبستگی شاخص‌های SPI و GRI

در شکل ۶ خود همبستگی برای GRI و SPI ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان داده شده است که با تأخیر زمانی ۱، ۲ و ۳ ماهه برای سه ایستگاه مختلف مشاهده می‌شود.



شکل ٦- خود همبستگی مقادیر SPI ۱۲، ۲٤ و ٤۸ ماهه و GRI با تأخیر زمانی‌های ۱، ۲ و ۳ ماهه

Figure 6- Autocorrelation of SPI values for 12, 24, and 48 months and GRI with time lags of 1, 2, and 3 months

مقادیر خود همبستگی با افزایش تأخیر زمانی و کاهش مقیاس زمانی کم‌تر می‌شود و برای ماه‌های تابستان (ماه‌های ۴ تا ۸) همبستگی بالایی مشاهده می شود؛ به‌ویژه برای مقیاس زمانی زیاد. این حالت برای GRI به‌طور آشکارتری مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که برای فصل تابستان مقادیر خود همبستگی تقریبا برابر یک است. این موضوع نشان می‌دهد که در پایان فصل بارش (اواخر زمستان)، تغذیه آبخوان متوقف می شود، درعوض در ماه‌های پاییز و زمستان، با وقوع بارش و تأثیر آن بر روی تغذیه آبخوان (افزایش ذخیره آبخوان و تغییر GRI) میزان خود همبستگی شاخص‌ها کاهش می‌یابد. زمان نفوذ بارش می‌تواند متغیر باشد و از سه تا شش ماه طول بکشد؛ علت تفاوت این تأخیرهای زمانی به علت تفاوت در شرایط هر دشت است؛ تاثیر خشکسالی‌ها بر منابع آب زیرزمینی در هر منطقه به عمق سطح آب زیرزمینی، خصوصیات خاک و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان آن بستگی دارد.

مقادیر همبستگی بالای GRI در فصل تابستان، می‌تواند برای پیش‌بینی این شاخص استفاده شود. ابتدا برای سری زمانی GRI و SPIها مقادیر خود همبستگی بدست آمد و معلوم شد که مقادیر ماه‌های با بارش کم دارای خود همبستگی بیشتری هستند؛ یعنی مقدار ماه ۵ نسبت به ماه ۴ دارای همبستگی است، به‌عبارتی می‌توان مقدار GRI ماه ۵ را از ماه ۴ پیش‌بینی کرد و به آن پیش‌بینی اطمینان بیشتری داشت، اما نمی‌توان از ماه‌های زمستان ماه‌های دیگر را پیش‌بینی کرد یا به آن پیش‌بینی اطمینان داشت.

با این حال، شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش مقیاس زمانی SPI، ضریب همبستگی هم افزایش می‌یابد و ازطرف دیگر ضریب همبستگی GRI از همه بزرگتر است. این نتیجه بدست می‌آید که شباهتی بین رفتار SPI با بزرگترین مقیاس زمانی و GRI وجود دارد.

همبستگی شاخص‌های SPI و GRI

جدول ۳ مقادیر همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه را طی دوره ۱۳۸۷–۱۳۴۷ نشان می‌دهد.

برای تعیین اثر تأخیر زمانی خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدروژئولوژیکی، ضریب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با شاخص GRI در فواصل زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ماهه بررسی شد که با توجه به این جدول، در دشت قزوین بیشترین همبستگی بین شاخص‌های GRI و SPI ۴۸ ماهه دیده می‌شود و مقادیر همبستگی برای SPI ۲۴ و ۴۸ ماهه در تأخیر زمانی‌های ۳ تا ۶ ماه معنی‌دار بوده است که در جدول مشخص شده است. این مطلب با نتایج مطالعات قلعه‌نی و همکاران (Mohammadi Ghaleni et al., 2011) و ملکی‌نژاد و پورشرعیاتی (Malekinezhad & Poorshareyati, 2011) نیز مطابقت دارد.

همبستگی بالای شاخص GRI با شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه نشان می‌دهد که منابع آب زیرزمینی در این منطقه تحت تأثیر پدیده‌های ترسالی و خشکسالی است و با تأخیر زمانی در حدود سه تا شش ماهه خشکسالی هواشناسی به خشکسالی آب زیرزمینی مبدل می‌شود. اسلامیان و همکاران (Eslamian et al., 2009) نیز در تحقیقات خود تأخیر زمانی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت‌های قزوین، بوئین زهرا و همدان را سه ماهه گزارش کردند.

جدول ۴ میزان افت سطح آب در آبخوان دشت قزوین را نشان می‌دهد که آمار بسیار نگران‌کننده‌ای دارد؛ به‌نحوی که تقریباً طی ۱۵ سال، از سال ۷۵ تا ۹۰ میزان افت به ۴۰ متر رسیده است این در حالی است که طرح توسعه نیروگاه شهید رجایی در سال‌های اخیر و با توجه به نیاز آبی قابل ملاحظه‌ای که دارد، می‌تواند به تشدید این مسئله کمک کند. که در مقابل میزان افت در ۲۰ سال گذشته‌اش (۱۳۴۵–۱۳۷۵) که حدود ۷ متر است، نسبتی ۴۰ به ۷؛ یعنی حدود ۶ برابر دارد که نشان‌دهنده آن است علاوه‌بر عوامل اقلیمی، عوامل انسانی از قبیل افزایش چاه‌های بهره‌برداری در منطقه در کاهش مقادیر GRI بی‌تأثیر نبوده است و نقش به‌سزایی در تشدید خشکسالی آب زیرزمینی دارد.

جدول ۳- همبستگی مقادیر دو شاخص GRI و SPI در محدوده یحیی‌آباد

Table 3- Correlation of the values of the two indices GRI and SPI in the Yahya abad area 1348-1387

Spi-6	Spi-9	Spi-12	Spi-18	Spi-24	Spi-48	
0.14	0.15	0.17	0.24	0.28	0.40	no lag
0.13	0.14	0.18	0.24	0.28	0.41	lag 1
-0.12	-0.12	0.09	0.10	0.22	0.51	lag 2
-0.11	0.00	0.12	0.11	0.44**	0.54**	lag 3
-0.13	0.02	0.14	0.11	0.48**	0.57**	lag 4
0.11	0.17	0.15	0.21	0.53**	0.61**	lag 5
0.11	0.17	0.15	0.21	0.53**	0.61**	lag 6

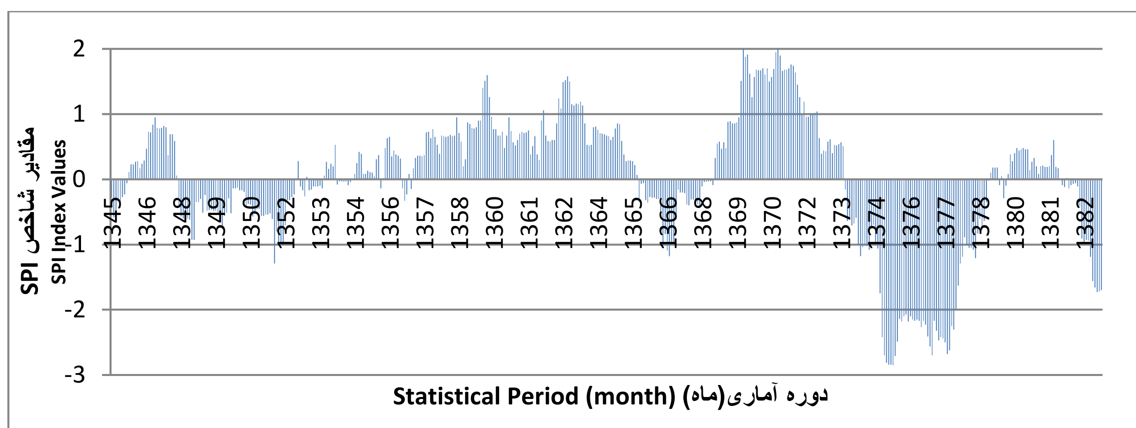
**: معنی‌دار در سطح ۹۹٪

**: significant at the 99% level

جدول ٤- میزان افت چاه‌های منتخب آبخوان قزوین

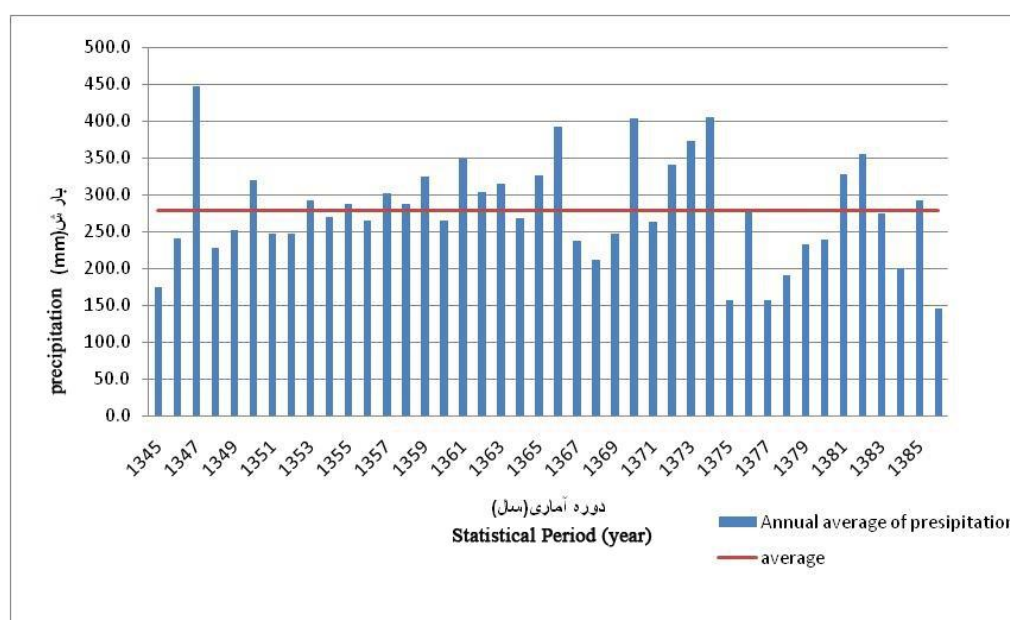
Table 4- Decline Rate of Selected Wells in the Qazvin Aquifer

چاه Well	دوره آماری Statistical Period	
	سال‌های 75–45 Years 1966-1996	سال‌های 90–75 Years 1996-2011
خوزبین Khozbin	4.6 متر(m)	46 متر(m)
رادکان یک Radkan yek	10 متر(m)	40 متر(m)
یحیی آباد Yahya abad	5.65 متر(m)	31.5 متر(m)



شکل ۷- گراف مقادیر شاخص SPI، ٤٨ ماهه

Figure 7- SPI Index Values Graph, 48 Months



شکل ۸- نمودار بارندگی سالانه دشت قزوین و میانگین بارش‌ها

Figure 8- Annual Precipitation Chart of the Qazvin Plain and Average Rainfall

در شکل ۷ به بررسی شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه پرداخته شده است؛ این شکل خشکسالی شدید (طبق جدول ۲) منطقه مورد مطالعه را در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹ نشان می‌دهد.

شکل ۸ بارندگی سالانه دشت قزوین است که با روش تیسن‌بندی به‌وسیله میان‌یابی کریجینگ بدست آمده است. همانطور که در شکل مشخص است، میانگین بارندگی سالانه دشت ۲۷۹ میلی‌متر است.

نتیجه‌گیری

در بررسی بومی‌سازی شاخص GRI در منطقه دشت قزوین این نتیجه حاصل شد که شاخص GRI جهت بررسی و ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی در این منطقه از عملکرد خوبی برخوردار است. به‌گونه‌ای که سال‌های تر و خشک را به خوبی نشان داده و انطباق مناسبی با رفتار سفره آب زیرزمینی دارد و مطابق با آنچه مندیسینو و همکاران (Mendicino & Senatore, 2008) نتیجه گرفتند، شاخصی است که با بیان صحیح خشکسالی‌ها در منطقه نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی به‌خصوص شاخص‌های خشکسالی هواشناسی برتری دارد. با توجه به چالش‌های جهانی مربوط به آب در قرن بیست و یکم، استفاده از شاخص GRI به‌عنوان یک ابزار کارآمد در ارزیابی و مدیریت بحران‌های خشکسالی این امکان را به مسئولین و محققین می‌دهد تا بهترین تصمیمات را اتخاذ کرده و بتوانند اقدامات خود را بر اساس شدت و گستردگی خشکسالی اولویت‌بندی کنند که منجربه ایجاد برنامه‌های

عملیاتی مؤثرتری جهت مدیریت منابع آب خواهد شد و به کاهش هدر رفت منابع و بهینه‌سازی استفاده از آب کمک خواهد کرد. در نهایت، به‌کارگیری این شاخص و ابزارهای مشابه می‌تواند نقش اساسی در توسعه پایدار و حفظ منابع آب زیرزمینی داشته باشد.

بررسی خشکسالی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۰ نشان می‌دهد که اثرات خشکسالی تا سال‌های بعد از آن بر منابع آب زیرزمینی ادامه داشته است. در خشکسالی این سال‌ها که طی آن بارندگی منطقه در مقایسه با میانگین دراز مدت ۲۵ درصد کاهش داشته است، آبدهی چشمه‌ها و قنوات کاهش پیدا کرده و افت سطح ایستابی منطقه بی‌سابقه بوده است و مطابق با شاخص GRI این افت در سال‌های بعد هم ادامه پیدا کرده است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش بارندگی در سال‌های ۱۳۸۱ و بعد از آن هم افت سطح ایستابی و ادامه روند خشکسالی آب زیرزمینی اتفاق افتاده است. هرچند عامل اقلیمی بیشترین تأثیر را در افت سطح ایستابی طی سال‌های اخیر داشته ولی این بحران و برداشت ۷ برابر قبل، حاصل مجموعه عواملی از جمله برداشت‌های بی‌رویه است که باید در تحقیقی مجزا به تعیین درصد نقش عامل انسانی در خشکسالی آب‌های زیرزمینی پرداخته شود.

در نهایت اگر استفاده از منابع آب دشت قزوین محدود و متوازن نشود، بزودی این منطقه با وجود سابقه‌ی سکونت چند هزار ساله، از لحاظ مهم‌ترین عامل حیات خود، یعنی آب، با مشکلات جدی روبرو خواهد شد. برای رویارویی با چالش خشکسالی آب زیرزمینی، ضرورت دارد که تدابیر و راهکارهایی اجرایی شوند. از جمله این تدابیر می‌توان به راهکارهای مدیریتی جهت کنترل و نظارت بر حفر چاه‌ها و میزان برداشت آب از آن‌ها و به‌منظور جلوگیری از اضافه برداشت و مشکلات ناشی از آن اشاره کرد که نیازمند تحقیقات جداگانه دیگری می‌باشد.

سپاسگزاری

از دانشگاه تهران و شرکت مدیریت منابع آب ایران به‌دلیل تأمین امکانات و داده‌های لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Aghchehkandi, A., Solaimani, K., Habibnezhad Roshan, M., & Shahedi, K. (2023). Evaluation impact of meteorological drought on groundwater level in Haraz watershed in Mazandaran province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, *14*(1), 215-231. (In Persian with English abstract)
2. Azizi, G. (2003). Relationship between recent drought and groundwater resources in Qazvin plain. *Geographical Research, 35*(3), 131-143. (In Persian)
3. Brocque, A., Kath, J., & Smith, K. (2018). Chronic groundwater decline: A multi-decadal analysis of groundwater trends under extreme climate cycles. *561*, 976-986 http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.059
4. Chenari, M. (2006). Analysis of changes in various drought indices using the Markov chain; in the climatic samples of Southern Alborz. Tehran: Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian)
5. Climatology and aerology. (2011). Retrieved from https://climatology.ir (Last access 10 Jun2011)
6. Eimani, M., & Talebi Esfandarani, A. (2011). Effects of drought on aquifer level changes in Yazd Bahabad plain, using GRI indicators and SPI. 4th Iran Water Resources Management Conference. Tehran: AmirKabir University. (In Persian) https://civilica.com/doc/117057/
7. Eslamian, S., Nasri, M., & Rahimi, N. (2009). Wet and dry periods and it's effects on water resources changes in Buin Plain watershed. *Geography and Environmental Planning 33*, 75-90. https://www.magiran.com/p777361
8. Hayes, M., Svoboda, M., & Wall, N. (1999). Drought monitoring and assessment. *Water Environment Research, 71*(2), 717-722. (In Persian with English abstract)
9. Halder, S., Roy, M.B., & Roy, P.K. (2020). Analysis of groundwater level trend and groundwater drought using standard groundwater level index: A case study of an eastern river basin of west Bengal, India. *SN Applied Sciences, 2*(507). https://doi.org/10.1007/s42452-020-2302-6
10. Hsu, K.C., Wang, C.H., Chen, K.C., Chen, C.T., & Ma, K.W. (2007). Climate induced hydrological impacts on the groundwater system of the Pingtung Plain, Taiwan. *Journal of Hydrogeology*, *5*, 903-913. https://doi.org/10.1007/s10040-006-0137-x
11. Jamshidi Avanaki, M. (2013). Assessment of drought effects on the groundwater involving drought indices. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran.
12. Khan, S., Gabriel, H.F., & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. *Irrigation Drainage System, 22*, 159–177. http://doi.org/10.1007/s10795-008-9049-3
13. Lezzaik, K., Milewski, A., & Mullen, J. (2018). The groundwater risk index: development and application in the Middle East and North Africa region. *Science Total Environment*, *628*, 1149-1164 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.066
14. Malekinezhad, H., & Poorshareyati, R. (2011). Analysis of drought trends in the Marvast plain using the

groundwater resource index (GRI). *4th Iran Water Resources Management Conference.* Tehran: AmirKabir University. (In Persian with English abstract) https://civilica.com/doc/116924/
15. McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology,* (pp. 179-184). Boston, Massachusetts: American Meteorological Society.
16. Mendicino, G., & Senatore, A. (2008). A Ground water resorce index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Hydrology, 357*, 282-302. https://doi.org/10.1016/j. jhydrol.2008.05.005
17. Mohammadi Ghaleni, M., Ebrahimi, K., & Araghinejad, S. (2011). Assessment of the impact of drought on groundwater level fluctuations using the standardized precipitation index-case study Saveh aquifer. *4th Iran Water Resources Management Conference.* Tehran: AmirKabir University. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/117068/
18. Naderianfar, M., Faryabi, A., Kouhestan, S., & Safavi Gardini, M. (2021). Investigating the groundwater fluctuations level in basin of Halil River, Jiroft. *Journal of Irrigation and Water Engineering, 11*(4), 141-159. (In Persian with English abstract).
19. Sarkar, M., & Chinnasamy, P. (2023). Assessing the impact of precipitation on Hardrock aquifer system using standard precipitation index and groundwater resilience index: a case study of Purulia, West Bengal, India. *Environmental Science and Pollution Researc*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30158-8
20. Seif, M., Mosaedi, A., & Mohammadzadeh, H. (2011). Investigation of hydrogeological drought in the Fasa plain aquifer using the Groundwater Resource Index (GRI). *15th Symposium of Geological Society of Iran.* Tehran: Tarbiat Moallem University. (In Persian). https://civilica.com/doc/135215/
21. Solaimani, K., Ramezani, N., Ahmadi, M.Z., & Bayat, F. (2005). Analysis of drought and flood trends in the watersheds of Mazandaran. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Caspian Sea, 3*(1), 13-28. (In Persian). https://www.magiran.com/p331910
22. Stagge, J., Hayes, M., & Svoboda, M. (2017). *Drought Monitoring: The Standardized Precipitation Index.* Klüver Academic Publishers.
23. Weather Report. (2020), United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.